

05;10;12

©1994

СТРУКТУРНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ АМОРФНОГО СПЛАВА $\text{Ni}_{60}\text{Nb}_{40}$, ПОДВЕРГНУТОГО ОБЛУЧЕНИЮ ИОНАМИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

Д.И.Тетельбаум, А.А.Трофимов, В.К.Васильев

Аморфные металлические сплавы (АМС) претерпевают две стадии структурных превращений. Первая стадия — структурная релаксация, при которой возрастает степень ближнего порядка, но сохраняется аморфность; на второй стадии происходит кристаллизация, т.е. изменяется дальний порядок [1]. Для понимания особенностей структурной релаксации важно исследовать это явление в АМС с одним и тем же химическим составом, но с различной степенью исходного разупорядочения. Последняя может регулироваться в широких пределах с помощью ионного облучения. Однако при этом необходимо отделить влияние внедряемых атомов (эффект легирования) от чисто радиационного воздействия. В настоящей работе эксперименты проводились в условиях, позволяющих производить такое разделение.

Исследуемый аморфный сплав $\text{Ni}_{60}\text{Nb}_{40}$ был получен методом лазерного распыления [2] в вакууме $1.3 \cdot 10^{-4}$ Па в виде тонких (140 нм) пленок на подложках из лейкосапфира. Поликристаллические пленки изготавливались путем отжига в вакууме при температуре $T = 1000$ К в течение 0.5 ч. Аморфные и поликристаллические пленки были подвергнуты облучению ионами Ag^+ (150 кэВ, 10^{17} см $^{-2}$) и Xe^+ (50 кэВ, 10^{16} см $^{-2}$). Исследования структурной релаксации пленок проводились путем измерения температурных зависимостей электросопротивления R и сопоставления с данными по рассеянию рентгеновских лучей (в скользящих пучках) и фототермостимулированной экзоэлектронной эмиссии (ФТСЭ) [3,4]. Измерение электросопротивления R проводилось в вакууме $1.3 \cdot 10^{-4}$ Па двухзондовым методом. Скорость нагрева и охлаждения составляла 20 К/мин.

На рис. 1 показаны температурные зависимости электросопротивления для аморфных пленок (с обратным ходом при трех температурах), измеренные относительно исходного значения при $T = 300$ К. Гистерезис R указывает на структурную релаксацию в процессе нагрева. Температуры структурной релаксации ($T \sim 500$ К) и кристаллизации

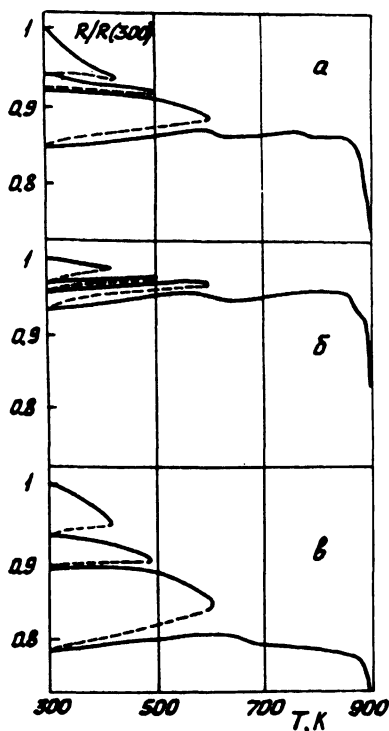


Рис. 1. Температурные зависимости электросопротивления для исходно аморфных пленок (пунктирной линией показаны кривые охлаждения); а — исходные пленки, б — после облучения ионами Ag^+ , в — после облучения ионами Xe^+ .

($T = 860 \text{ K}$) согласуются с данными, полученными методом ФТСЭ и дифракцией рентгеновских лучей [3,4]. Однако для облученных Ag^+ пленок по R и ФТСЭ не соответствуют друг другу: если по данным ФТСЭ облучение ионами Ag^+ увеличивает интенсивность структурной релаксации в области температур $\sim 500 \text{ K}$, то, согласно рис. 1, б, степень релаксации уменьшается. Такое несоответствие связано с тем, что сумма пробега и страгглинга $R_p + R_p$ ионов Ag^+ составляет 102 nm , так что ионы распределены практически по всей толщине пленки. Наличие атомов Ag в исследуемой структуре затрудняет релаксацию последней. Действительно, атомы Ag могут занимать имеющиеся в исходной аморфной матрице поры и пустоты, и тем самым повышать энергию, необходимую для перегруппировки атомов матрицы. Метод ФТСЭ позволяет зондировать лишь тонкий ($\sim 1 \text{ nm}$) поверхностный слой, который, по-видимому,

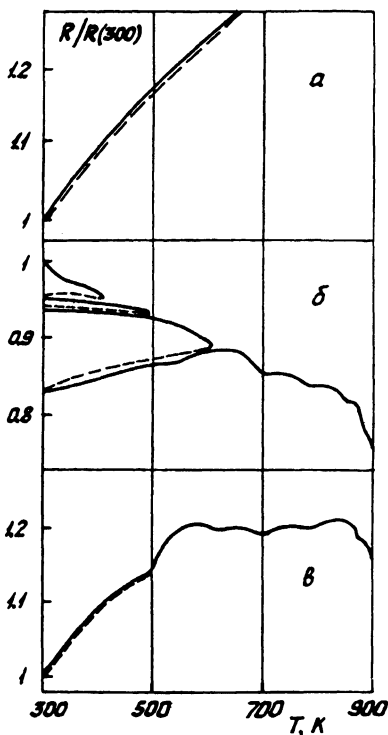


Рис. 2. Температурные зависимости электросопротивления для исходно поликристаллических пленок. Обозначения те же, что и на рис. 1.

свободен от аргона вследствие его десорбции, а также из-за колоколообразного распределения пробегов ионов. Интенсивная структурная релаксация в области $T = 500$ К после облучения Xe^+ ($R_p + \Delta R_p = 31$ нм много меньше толщины пленки) объясняется эффектом дальнего действия [5], который особенно отчетливо проявляется при облучении тяжелыми ионами.

Облучение поликристаллических пленок ионами Ag^+ привело к их аморфизации, что может быть объяснено с позиций модели пиков плавления [6] или модели накопления радиационных дефектов [7]. В этом случае, в отличие от случая облучения исходно аморфных пленок, имеет место ярко выраженная структурная релаксация (рис. 2). Различие, вероятно, связано с тем, что аморфизация наступает при дозах, не намного меньших использованной нами, и сопровождается десорбцией аргона. Поэтому концентрация аргона в аморфизованных исходно поликристал-

лических пленках значительно ниже, чем в облученных исходно аморфных пленках. Имплантация ионов Xe^+ в поликристаллические пленки не приводит к аморфизации, кроме тонкого приповерхностного слоя. Поэтому не наблюдается структурной релаксации в районе 500 К. Вместе с тем эффект дальнего действия проявляется в том, что возникают дополнительные перегибы и экстремумы на кривой $R(T)$ при $T > 500$ К, свидетельствующие о внесении дефектов в толщу пленки (рис. 2, в).

Ионное облучение аморфных пленок усиливает пространственные флуктуации атомной плотности и(или) степени упорядоченности аморфного состояния (топологический беспорядок). Об этом свидетельствуют появление малоуглового рассеяния рентгеновских лучей, увеличение низкотемпературного максимума ФТСЭ ($T \sim 500$ К) [4,5] и релаксационные изменения электросопротивления в области температур $T = 400-500$ К. Усиление топологического беспорядка после ионного облучения обусловлено взаимодействием точечных дефектов, генерированных при облучении с исходными структурными несовершенствами [8]. Отсутствие сдвига максимума по температуре указывает, что неоднородности, вносимые ионным облучением, — того же типа, что и присутствующие в исходной необлученной аморфной матрице. Поэтому использование ионного облучения позволяет воспроизводить различные степени разупорядочения, присутствующего в АМС, получаемых различными методами, и тем самым изучать релаксационные явления в сплавах.

Список литературы

- [1] Чен Х.С. Аморфные металлические сплавы / Под ред. Ф.Е.Люборского. М., 1987. С. 164–181.
- [2] Кикин П.Ю., Подольский В.В., Трофимов А.А. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 6. С. 26–29.
- [3] Тетельбаум Д.И., Трофимова А.А., Сидорова А.И., Варенова Н.Г. // Тез. докл. XXII конф. по эмиссионной электронике. Т. 3. М., 1994. С. 115–116.
- [4] Trofimov A.A., Tetelbaum D.I., Vasilyev V.K., Sidorova A.I. // Papers of Int. Conf. "Modification of Properties of Non-Semiconducting Materials Using Particle Beams". Sumy (Ukraine), 1993. P. 49.
- [5] Павлов П.В. и др. // Металлы. 1993. В. 3. С. 78–83.
- [6] Seitz F. // Sisc. Farad. Soc. 1949. N 5. P. 271.
- [7] Павлов П.В. и др. // Кристаллография. 1967. В. 12. С. 155.
- [8] Павлов А.П. и др. // ДАН. 1990. Т. 311. В. 3. С. 606–608.

Поступило в Редакцию
15 апреля 1994 г.